

中小港湾における航路・泊地堆砂予測に関する研究 ～岩礁域と低天端構造物の透過を考慮～

鳥取大学 学生会員 ○都倉 幸太郎

日本ミクニヤ(株) 正会員 小泉 知義

鳥取大学 正会員 黒岩正光・梶川勇樹・山本真二

シンワ技研コンサルタント(株) 正会員 片山 崇

1. はじめに

沿岸域における社会問題の一つとして、港湾や漁港の航路埋没が挙げられる。中小規模の港湾・漁港では、その港口部が砕波点近傍やそれより浅い水深にあることが多いことから、冬季における高波浪時に多くの浮遊砂が港内に流入することで航路埋没が発生しやすく、現状多くの中小港湾が航路埋没問題に悩まされている。島根県中部に位置する久手港では、2018年3月に、港口部の防波堤裏において多量の堆砂が生じ問題となった。図1に示すように、久手港は東西を岩礁に囲まれ、久手港海岸に隣接している。このように、実際の海浜変形が問題となる海域には、砂層の下に岩礁がある場合や露岩相が混在するものも多く、漂砂の移動形態は複雑な様相を示す。岩礁域を考慮したモデルは池野ら(2001)やHansonら(2005)、長谷川ら(2012)により提唱されてきたが、適用性は十分に検討されていない。また、久手港に設置されている消波構造物は天端高が低いものも多く、高波浪時には透過などの現象が生じているものと考えられる。本研究では、既往の3次元海浜変形モデルによる航路堆砂シミュレーションを試み、モデルの適用性を検討する。



図1 久手港概略図



図2 久手港堆砂状況(2021年3月)

2. 数値モデルの概要

研究で構築する数値モデルは、黒岩ら(2011)が開発した岩礁域を考慮した3次元海浜変形予測モデルをベースとする。このモデルは、①波浪場の計算、②海浜流場の計算、③漂砂量の3つのサブモデルから構成される。波浪場の計算は間瀬ら(1999)のモデルを用い、海浜流場の計算は黒岩ら(2006)のハイブリッドモデルを用いた。本研究では、高波浪時の地形変化について検討するため、海浜流場の計算においては準3次元海浜変形モデルを適用し現地適用性を検討した。紙面の都合上、漂砂量モデルのみを以下に示す。

2.1 漂砂量及び地形変化

本研究では、埋没している岩礁域からの砂質の巻き上げや、露出している岩礁域への沈降を考慮するため、浮遊砂の計算に樫木ら(1984)の移流拡散方程式によるフラックスモデルを用いた。

1) 水深変化

岸沖及び沿岸方向の漂砂量をそれぞれ q_x, q_y とする。地形変化の計算は、浮遊砂の沈降フラックス $w_f C$ と巻き上げフラックス F_z の差 Q_s と掃流漂砂の場所的变化を考慮した連続式

キーワード 3次元海浜変形モデル, 港湾埋没, 岩礁

連絡先 〒680-8550 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101 鳥取大学工学部海岸工学研究室

TEL 0857-31-5299

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda}(-Q_s) + \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(q_{bx} + \varepsilon_s |q_{bx}| \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(q_{by} + \varepsilon_s |q_{by}| \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} \quad (1)$$

より計算する．ここに， h は水深， λ は空隙率， ε_s は無次元係数， q_{bx}, q_{by} は掃流漂砂である． Q_s は

$$Q_s = F_z - w_f C \quad (2)$$

$$F_z = \alpha(1-\gamma)C_0 w_f \left(\frac{u_*}{w_f} - 1 \right), \quad \begin{cases} u_* \geq w_f : \gamma = 0 \\ u_* \leq w_f : \gamma = 1 \end{cases} \quad (3)$$

ここに， α は無次元係数で 0.001 とし， C_0 は基準点濃度， w_f は砂の沈降速度で Rubey の式で計算する． u_* は波と流れの共存場における摩擦速度である． C は断面平均化された浮遊砂濃度で，以下に示す平面 2 次元移流拡散方程式で計算される．

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{Q_s}{\bar{\eta} + h} \quad (4)$$

2) 岩礁域を考慮した漂砂量式

岩礁が露出している場合，式 (2) において巻き上げフラックス F_z は生じないものとし，沈降フラックス $w_f C$ のみ考慮する．掃流砂は渡辺ら (1984) のモデルをベースとした波と定常流速によるものと定義し，池野らと同様に，図 2 に示すような砂層厚 h_{sd} を定義し，砂漣高 ζ との比を乗じた漂砂量の式を用いた．

$$q_b = \frac{h_{sd}}{\zeta/2} (q_c + q_w) \quad (5)$$

ここに， ζ は砂漣高とされているが，本研究では，10cm 程度と一定値を与え， $h_{sd} < \zeta/2$ のとき $\frac{h_{sd}}{\zeta/2} = 1$ とした．

$h_{sd} = 0$ となったとき，漂砂量が 0 となり，岩礁が露出したことになる．ここに， q_c は流れ（底面流速 U_b ）による掃流漂砂， q_w は波による掃流漂砂で，次式で表される．

3) 波と流れによる漂砂量

$$q_c = A_c \{ (u_*)^2 - (u_{c*})^2 \} U_b / g \quad (6)$$

$$q_w = A_w \{ (u_*)^2 - (u_{c*})^2 \} \hat{u}_w / g \quad (7)$$

ここに， A_w および A_c は漂砂量係数で，底質の中央粒径で評価される (清水ら，1996)．

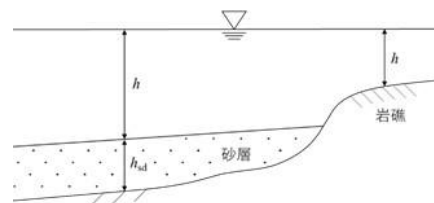


図 3 岩礁，水深，砂層厚の定義

3. 現地地形への適用

久手港港内における多量の堆砂が発生した年の浜田港におけるナウファスの冬季波浪データ (2017 年 12 月～2018 年 3 月) を図 4 に示す．波高 4m を超える高波浪時の波向きは北北西よりのものが卓越しており，周期は 8～10s 程度であった．波浪条件として波高 4.5m，周期 8s，波向 -20° (波向きは北から時計回りを正とする) を与えた．波の作用時間は 24 時間とし，計算格子間隔は 5m，砂の中央粒径は 0.3mm，漂砂量係数 A_w および A_c は 0.01 と 0.1 とした．

初期地形を図 5 に示す．図 5 の (b), (c) に示す黄色の範囲は岩礁を表し，図 1 の航空写真を参考に設定した．岩礁上の砂層厚は 0m とし，それ以外の砂層厚は 2m とした．また図 5 の (c) に示す緑色の範囲は，高波浪時には透過が発生していると考えられる低天端構造物を表す．これらに水深 ($h=0.5m$ とした) を与え，疑似的に潜堤として計算を行うことで高波浪時の波の透過を考慮した．計算結果を図 6～図 8 に示す．図 6 はそれぞれの地形条件における侵食堆積図であり，図 7，図 8 は波の透過の有無による波高分布図と流速分布図である．

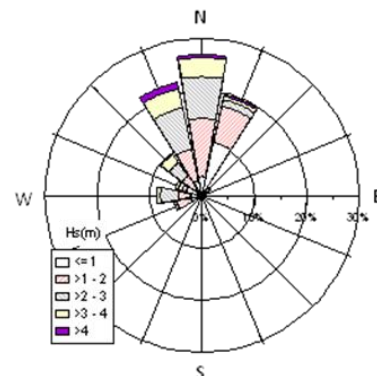


図 4 浜田港波浪データ
(2017 年 12 月～2018 年 3 月)

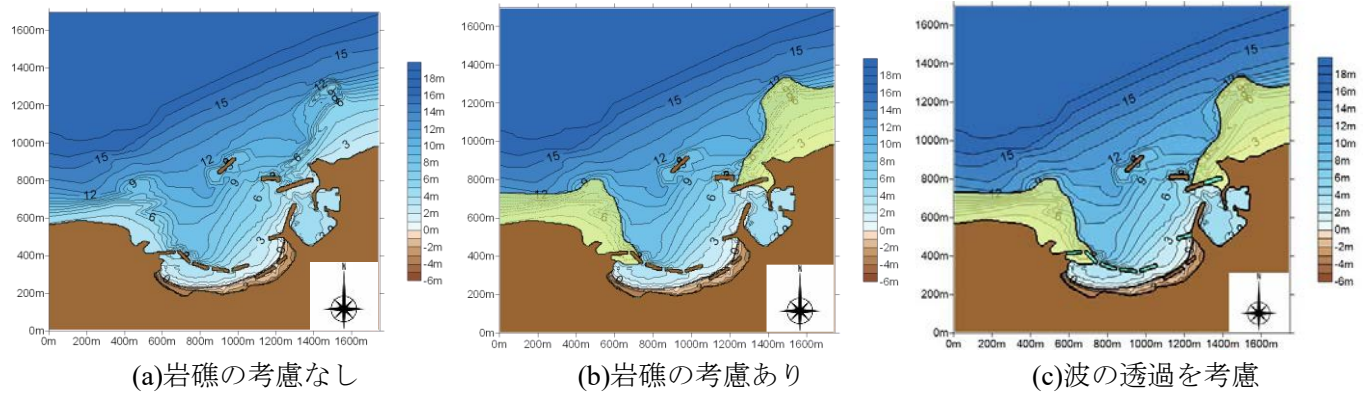


図5 初期地形図

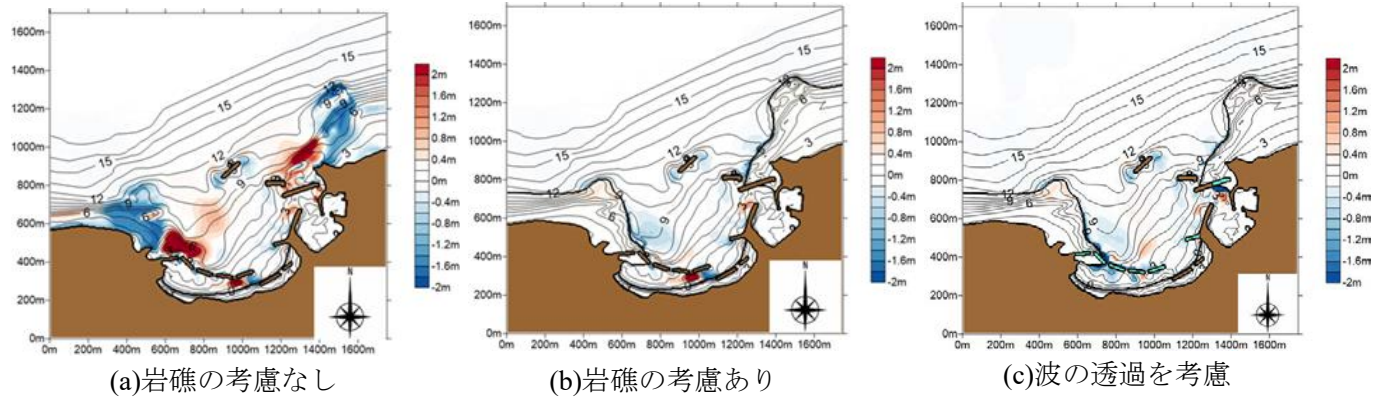


図6 侵食堆積図

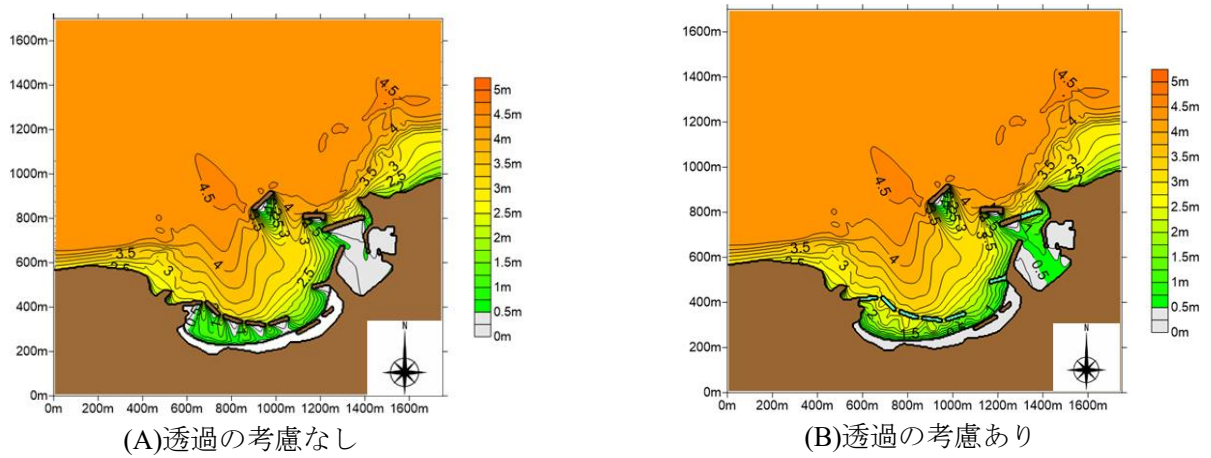


図7 波高分布図

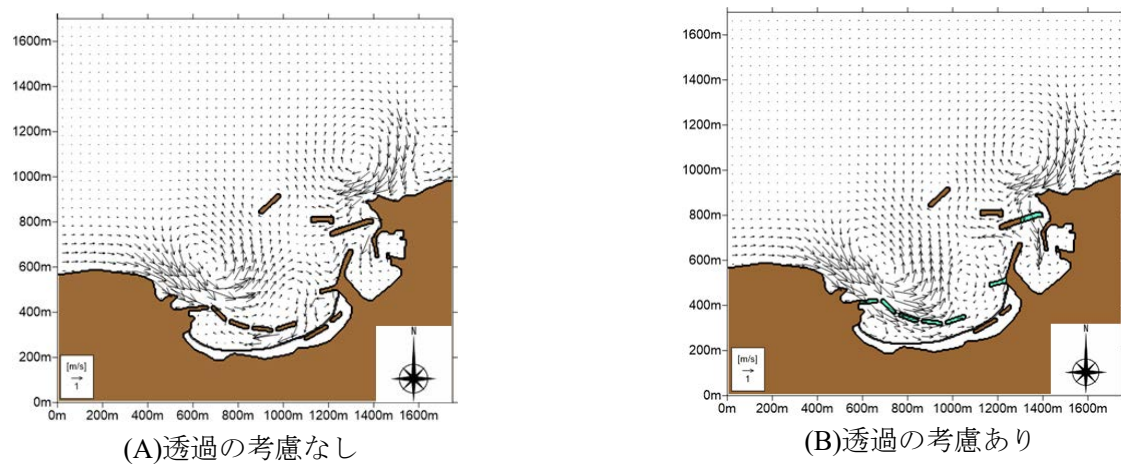


図8 流速分布図

結果として、図6に示すように、岩礁を考慮することで崖海岸付近の浅水域における過剰な地形変化が抑制することができた。実際の砂層厚のデータを適切に設定することでより再現度は向上すると考えられる。また、低天端構造物において波の透過を考慮した場合は、構造物背後において侵食が生じ、港口部付近で堆砂がみられるようになった。波の透過の考慮による波高分布、流速分布の比較では、図7から、透過を考慮することで構造物背後における波高が上昇し、港内の波高も上昇していることが確認できる。また図8からは、久手港海岸前面の離岸堤背後において、透過を考慮しない場合では西向きに流れていた流れ場が、透過を考慮することで港口部へ向かう東向きの流れ場に変化していることや、港口部の防波堤周辺において、透過を考慮しない場合では離岸流として沖に向かっていった流れの一部が、透過を考慮することで港内へ流入する流れへと変化していることが確認できる。これらのことから、高波浪時の構造物まわりにおける洗堀が航路埋没に寄与していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、岩礁域を考慮した3次元海浜変形モデルを用いて、航路・泊地の堆砂予測について検討した。岩礁域を考慮することによって、岩礁が存在する浅水域での地形変化が抑制され、より現実に即した地形変化を示すと考えられる。高波浪時における土砂の港内への流入を考える場合、低天端構造物の透過を考慮することで港内への流れがみられ、構造物背後の洗堀により、港口部付近で堆砂が確認できるようになった。本研究では高波浪時の透過の計算を、天端高の低い構造物に水深を与えることで簡便的に計算を行ったが、合田(2008)などの越波モデルを用いた場合との計算結果の比較が必要である。

本研究は島根県土木部港湾空港課との共同研究による成果の一部であることをここに付記しておく。

参考文献

- ・池野ら(2001):露岩域を有する砂浜海岸に港湾を建設する場合の3次元海浜変形数値予測モデルの適用, 海岸工学論文集, 48巻, pp.561-565
- ・黒岩ら(2006):平面2次元と準3次元海浜流モデルによるハイブリッド型3次元海浜変形システム, 第53巻海岸工学論文集, pp.486-490
- ・黒岩ら(2011):岩礁域を考慮した3次元海浜変形予測モデルに関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 67巻2号, pp.531-535
- ・合田良実(2008):CLASHデータベースに基づく統一的越波流量推定式の提案, 海洋開発論文集, 第24巻, pp.939-944
- ・榎木ら(1984):河口周辺の海浜流及び地形変動モデルに関する研究, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.411-415
- ・清水ら(1996):沿岸漂砂量の岸沖分布と漂砂量係数, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.571-575
- ・間瀬ら(1999):波の回析を考慮した多方面不規則波の変形計算モデルに関する研究, 土木学会論文集, 第628号, II-48, pp.43-50, pp.177-187
- ・渡辺ら(1984):構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 海岸工学講演会論文集, 31巻, pp.406-410
- ・Hanson, H and Militello, A (2005): Representation of Non-Erodible (Hard) Bottom in Two-Dimensional Morphology Change Models, Technical Note ERDC/CHL CHETN-IV-63, US Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, MS.
- ・Hasegawa, Y. et al. (2012): Three-dimensional Morphodynamic Model to Sandy Beach with Non-eroded Hard Bottom, Proceedings of 33th International Conference on Coastal Engineering, 794-774.